

2.2. Analisis Beban Gempa (SNI 1726-2012)

2.2.1. Gempa Rencana

Gempa rencana dalam perancangan struktur gedung ini ditetapkan sebagai gempa yang kemungkinan terlewat sebesar 2 persen selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

2.2.2. Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Sesuai tabel 1 SNI 1726-2012, untuk berbagai resiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai dengan tabel 2.1, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut tabel 2.2.

Tabel 2.1 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia saat terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk, antara lain : <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I,III,IV, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - pabrik 	II
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none"> - bioskop - gedung pertemuan - stadion - fasilitas kesejatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - fasilitas penitipan anak - penjara - Bangunan untuk orang jompo 	III

Tabel 2.1 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk beban Gempa (lanjutan)

<p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk ke dalam kategori resiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat. - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat. - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat. - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori resiko IV</p>	IV

Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

2.2.3. Kombinasi Beban dan pengaruh beban Gempa

Peninjauan dan penghitungan beban pada perancangan gedung ini berdasarkan pada Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2013 pasal 9.2.1 dan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726-2012 Pasal 4.2.2 dan Pasal 7.4.

1. $1,4 D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$

4. $1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
5. $1,2D + 1,0E + 1,0L$
6. $0,9D + 1,0W$
7. $0,9D + 1,0E$

Dengan pengaruh beban gempa, E ditentukan oleh persamaan (2-01) dan (2-02) :

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5

$$E = E_h + E_v \quad (2-01)$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7

$$E = E_h - E_v \quad (2-02)$$

Dengan E_h dan E_v ditentukan oleh persamaan (2-03) dan (2-04) :

$$E_h = \rho Q_E \quad (2-03)$$

$$E_v = 0,2S_{DS}D \quad (2-04)$$

Dengan :

- U = kuat perlu
- D = beban mati
- L = beban hidup
- L_r = beban hidup pada atap
- R = beban hujan
- W = beban angin
- E = beban gempa
- E_h = pengaruh beban gempa horizontal
- E_v = pengaruh beban gempa vertikal
- ρ = faktor redundansi
- Q_E = pengaruh gaya gempa horizontal dari V atau F_p
- S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda pendek

2.2.4. Klasifikasi Situs

Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus

diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan tabel 2.3 berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan pengujian di laboratorium dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah yang tercantum dalam tabel 2.3. kelas situs yang diberlakukan adalah kelas situs yang paling buruk dari hasil analisis.

Tabel 2.3 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	Tidak dapat dipakai	Tidak dapat dipakai
SB (batuan)	750 sampai 1500	Tidak dapat dipakai	Tidak dapat dipakai
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40$, 3. Kuat geser nirair, $s_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : - rawan dan potensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - lempung sangat organik dan atau gambut (ketebalan, $H > 3$ m) - lempung berplastisitas sangat tinggi ($H > 7,5$ m, $IP > 75$) lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

Dalam klasifikasi situs, profil tanah yang mengandung beberapa lapisan tanah dan atau batuan yang nyata berbeda, harus dibagi menjadi lapisan-lapisan dari nomor ke-1 hingga ke- n dari atas ke bawah, sehingga ada total n -lapisan tanah yang berbeda pada lapisan 30 m paling atas tersebut.

Untuk mendapatkan nilai kecepatan rata-rata gelombang geser \bar{v}_s menggunakan langkah persamaan (2-05), tahanan penetrasi standar lapangan rata-

rata \bar{N} menggunakan persamaan (2-06) dan tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah non-kohefif \bar{N}_{ch} menggunakan persamaan (2-07) serta kuat geser niralir rata-rata \bar{s}_u harus melalui langkah dari persamaan (2-09) :

1. Nilai Kecepatan rata-rata Gelombang Geser, \bar{v}_s

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad (2-05)$$

Dengan :

d_i = tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 sampai 30 m
 v_{si} = kecepatan gelombang geser lapisan i dinyatakan dalam meter perdetik (m/detik)

$$\sum_{i=1}^n d_i = 30 \text{ m}$$

2. Tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata \bar{N} dan tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah non-kohefif \bar{N}_{ch}

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (2-06)$$

Dengan N_i dan d_i dalam persamaan (2-06) berlaku untuk tanah non-kohefif, tanah kohefif, dan lapisan batuan.

$$\bar{N}_{ch} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^m \frac{d_i}{N_i}} \quad (2-07)$$

Dengan N_i dan d_i dalam persamaan (2-07) berlaku untuk tanah non-kohefif saja, dan

$$\sum_{i=1}^m d_i = d_s \sum_{j=1}^m d_j = d_s \quad (2-08)$$

Dengan :

d_s = ketebalan total lapisan tanah non-kohefif 30 m paling atas

N_i = tahanan penetrasi standar 60 persen energi (N_{60}) yang terukur

langsung di lapangan tanpa koreksi dengan nilai

≤ 305 pukulan/m.

3. kuat geser niralir rata-rata \bar{s}_u

$$\bar{s}_u = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{s_{ui}}} \quad (2-09)$$

Dengan :

$$\sum_{i=1}^k d_i = d_c \quad (2-10)$$

d_c = ketebalan total dari lapisan-lapisan tanah kohefif di dalam lapisan 30 meter paling atas. (m)

PI = indeks plastisitas

w = kadar air (%)

s_{ui} = kuat geser niralir (kPa), dengan nilai tidak lebih dari 250 kPa

2.2.5. Parameter Percepatan Terpetakan

Setelah mengetahui klasifikasi situs dan mengetahui letak lokasi bangunan, langkah berikutnya adalah mengetahui parameter percepatan batuan dasar pada perioda pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (S_I). Kedua parameter ini bisa diambil dari peta gempa SNI 1726-2012.

2.2.6. Parameter Percepatan Gempa

Setelah mengetahui klasifikasi situs dan parameter percepatan batuan dasar, langkah berikutnya adalah menghitung koefisien atau parameter percepatan gempa

berdasarkan klas situs terdahulu dan nilai dari peta gempa supaya bisa didapatkan respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R).

Untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi sesimik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dari persamaan (2-11) dan (2-12) :

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2-11)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2-12)$$

Dengan nilai F_a dan F_v ditentukan oleh tabel 2.4 dan 2.5 .

Tabel 2.4 Koefisien situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS				

Tabel 2.5 Koefisien situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=1$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS				

Catatan :

2. Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
3. SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik.

2.2.7. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S_{DS} dan pada perioda 1 detik, S_{D1} harus ditentukan melalui persamaan (2-13) dan (2-14) :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2-13)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2-14)$$

2.2.8. Kategori Desain Seismik (KDS)

Dari nilai S_{DS} , S_{D1} dan kategori resiko gedung akan didapatkan dua kategori desain seismik. Nilai yang diambil adalah yang paling besar dari kedua KDS tersebut.

Nilai tersebut didapatkan harus dari nilai dalam tabel 2.6 dan tabel 2.7 :

Tabel 2.6 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan Perioda Pendek, S_{DS}

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan Perioda 1 detik, S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,2$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

2.2.9. Sistem Struktur dan Parameter Struktur

Sistem struktur yang dipilih harus sesuai dengan batasan dan memperhatikan koefisien dalam jenis sistem struktur tersebut.

Tabel 2.8 Faktor R , C_d , Ω_o

No	Sistem penahan gaya seismik	R	C_d	Ω_o	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)				
					Kategori desain seismik				
					B	C	D	E	F
	Sistem rangka pemikul momen								
1	Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
2	Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5,5	TB	TB	48	30	TI
3	Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4	TB	TB	10	TI	TI
4	Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5	Beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
6	Beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
7	Beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
8	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
9	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
10	Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5,5	48	48	30	TI	TI
11	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
12	Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3,5	3	3,5	10	10	10	10	10

TB : tidak dibatasi

TI : tidak diijinkan

2.2.10. Faktor Redundansi

Struktur penahan beban lateral dengan kategori desain seismik D, E dan F harus dikenakan faktor redundansi, ρ , sebesar 1,3 dalam kombinasi bebannya.

Boleh digunakan faktor redundansi sebesar 1,0 apabila syarat-syarat berikut ini terpenuhi.

- a. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar dalam arah yang ditinjau harus sesuai dengan tabel 2.8.
- b. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah orthogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat, h_{sx} untuk konstruksi rangka ringan.

Tabel 2.9 Persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar

Elemen penahan gaya lateran	Persyaratan
Rangka dengan bresing	Pelepasan bresing individu, atau sambungan yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kuat tingkat sebesar lebih dari 33%, atau sistem yang dihasilkan tidak mempunyai ketidakteraturan torsi yang berlebihan
Rangka pemikul momen	Kehilangan tahanan momen di sambungan balok ke kolom di kedua ujung balok tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33%, atau sistem yang dihasilkan tidak mempunyai ketidakteraturan torsi yang berlebihan

2.2.11. Prosedur Perhitungan Gaya Lateral Ekivalen

A. Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismik, V dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan (2-15) :

$$V = C_s W \quad (2-15)$$

Dengan :

C_s = koefisien respons seismik.

W = berat seismik efektif (kN)

B. Perhitungan Koefisien Respons Seismik

Koefisien respons seismik, C_s harus ditentukan sesuai dengan :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-16)$$

Dengan :

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang Periode pendek

R = faktor modifikasi respons yang ditentukan oleh sistem penahan gempa yang dipilih

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan kategori risiko

Nilai C_s yang dihitung tidak perlu lebih dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-17)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 \quad (2-18)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_I sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-19)$$

Dengan :

S_{D1} = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode 1,0 detik

T = periode fundamental struktur (detik)

S_1 = parameter percepatan spektrum respons maksimum

C. Penentuan Periode

Periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari tabel 2.10 dan periode fundamental pendekatan, T_a yang ditentukan sesuai persamaan (2-20). Sebagai alternatif, pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, T , diijinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a , yang dihitung dengan persamaan (2-20) berikut :

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2-20)$$

Dengan :

h_n adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas sampai tingkat tertinggi struktur, dan nilai parameter periode pendekatan C_t dan x ditentukan dalam tabel 2.11.

Tabel 2.10 Koefisien Untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

Parameter Percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Tabel 2.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau berhubungan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa :		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

Sebagai alternatif, diijinkan untuk menentukan perioda fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, dan persamaan (2-21) untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m.

$$T_a = 0,1N \quad (2-21)$$

Dengan N adalah jumlah tingkat.

D. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral (F_x), dalam (kN), yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan (2-22) dan (2-23) :

$$F_x = C_{vx}V \quad (2-22)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2-23)$$

Dengan :

- C_{vx} = faktor distribusi vertikal
- V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kilo newton (kN)
- w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x (kN)
- h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x , dalam meter (m)
- k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur berikut ini:
 - struktur dengan perioda 0,5 atau kurang, $k=1$
 - struktur dengan perioda 2,5 atau lebih, $k=2$
 - struktur dengan perioda 0,5 -2,5
 - $k=2$, atau interpolasi linear antara 1 dan 2.

E. Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Geser tingkat desain gempa di semua tingkat (V_x) dalam (kN) harus ditentukan dari persamaan (2-24) :

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (2-24)$$

Dengan F_i adalah bagian dari geser dasar seismik (V) yang timbul di tingkat i , dalam kilo newton (kN)

Geser tingkat desain gempa (V_x), dalam (kN) harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem penahan gaya gempa di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen penahan vertikal dan diafragma.

F. Penentuan Simpangan Antar Lantai

Pasal 7.12.1.1 SNI 1726-2012 menyebutkan untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen pada struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E atau F, simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a) yang dibagi dengan faktor redundansi (ρ) untuk semua tingkat.

Bagi struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horisontal tipe 1a atau 1b, simpangan antar lantai desain (Δ) harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur.

Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan (2-25) :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2-25)$$

Dengan :

- C_d = faktor amplifikasi defleksi
determined oleh jenis struktur penahan gaya gempa terpilih
- δ_x = defleksi pada lokasi yang disyaratkan (mm)
- I_e = faktor keutamaan gempa, ditentukan oleh kategori resiko

Simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a) diuraikan pada tabel 2.12 :

Tabel 2.12 Simpangan antar lantai tingkat ijin

Struktur	Kategori resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,020h_{sx}$

Dengan h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x

2.3. Teori Struktur Beton Bertulang (SNI 2847-2013)

2.3.1. Kekuatan Desain

Kuat rencana yang diberikan oleh suatu komponen struktur, sambungan dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi dari Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.1 sampai dengan 9.3.2.7, faktor reduksi kekuatan (ϕ) ditentukan sebagai berikut :

1. Penampang terkendali tarik ($\phi = 0,90$)
2. Penampang terkendali tekan

- a. Komponen struktur dengan tulangan spiral ($\phi = 0,75$)
- b. Komponen struktur bertulang lainnya ($\phi = 0,65$)
- 3. Geser dan torsi ($\phi = 0,75$)
- 4. Tumpuan pada beton ($\phi = 0,85$)

2.3.2. Pelat Satu Arah

Ketika perbandingan panjang dan lebar suatu pelat lebih dari dua, maka pelat tersebut termasuk pelat satu arah. Untuk menghitung momen terfaktor dan kebutuhan tulangan untuk pelat satu arah, bisa menggunakan rumus atau dengan analisis tampang.

- a. Menghitung momen terfaktor dengan analisis tampang

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (2-26)$$

maka

$$M_n = C_c \cdot z = T_s \cdot z \quad (2-27)$$

$$M_n = C_c \cdot z = a \cdot b \cdot 0,85 f'_c \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2-28)$$

$$M_n = T_s \cdot z = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2-29)$$

- b. Menghitung momen terfaktor dengan rumus

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (2-30)$$

Maka tahanan momennya adalah

$$R_n = \frac{M_u}{b \cdot d^2} = \frac{M_n}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (2-31)$$

Nilai rasio penulangan (ρ) adalah

$$\rho = \frac{0,85f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85f'_c}} \right) \quad (2-32)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (2-33)$$

Dengan

- M_n = momen nominal (N-mm)
 M_u = momen terfaktor (N-mm)
 c_c = gaya tekan beton (N)
 T_s = gaya tarik baja tulangan (N)
 z = lengan momen, jarak antara pusat gaya tarik dan pusat gaya tekan yang membentuk kopel. (mm)
 d = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)
 a = tinggi blok tegangan persegi ekivalen (mm)
 R_n =
 Φ = faktor reduksi kekuatan
 ρ = rasio penulangan
 f_y = kekuatan leleh tulangan (MPa)
 f'_c = kekuatan tekan beton (MPa)

Mengenai persyaratan tebal minimum dari SNI 2847-2013 pasal 9.5.2 tabel 9.5(a), dapat dilihat pada tabel 2.13.

Tabel 2.13 Tebal Minimum Pelat Satu Arah

Komponen Struktur	Tebal minimum (h)			
	Dua tumpuan sederhana	Satu ujung menerus	Dua ujung menerus	kantilever
Pelat masif satu arah	$\ell/20$	$\ell/24$	$\ell/28$	$\ell/10$

Catatan :

- Panjang bentang dalam mm.
- Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan Mutu 420 MPa.

Untuk $f_y \neq 420$ MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$

2.3.3. Pelat Dua Arah

Apabila perbandingan panjang dan lebar pelat tidak lebih dari dua, maka pelat tersebut termasuk pelat dua arah. Ada beberapa jenis pelat dua arah (Imran,

2014), diantaranya pelat datar, lantai datar, pelat *waffel*, dan sistem pelat dengan balok.

1. Tebal minimum pelat

Berdasarkan pasal 9.5.3.2 Tabel 9.5(c) dan pasal 9.5.3.3 SNI 2847-2012, ketebalan pelat dua arah harus memenuhi syarat sebagai berikut :

- a. Untuk $\alpha_{fm} \leq 0,2$ menggunakan tabel 2.2

Tabel 2.14 Tabel tebal minimal pelat dua arah

Tegangan leleh f_y (MPa)	Tanpa penebalan			Dengan penebalan		
	Panel Eksterior		Panel interior	Panel Eksterior		Panel Interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir	
280	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/40$	$\ell_n/40$
420	$\ell_n/30$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$
520	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

Dengan catatan :

ℓ_n = panjang bentang bersih dalam arah panjang untuk f_y antara nilai dalam tabel, tebal minimum diinterpolasi linier.

- b. Untuk $0,2 \leq \alpha_{fm} \leq 2,0$ maka tebal minimum pelat tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (2-34)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

- c. Untuk nilai rata-rata $\alpha, \alpha_{fm} \geq 2,0$, tebal minimum pelat tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (2-35)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

Dengan:

- α = Rasio kekuatan lentur penampang balok terhadap kekuatan lentur pelat.
- α_{fm} = Nilai rata-rata nilai α untuk semua balok pada tepipanel.
- β = Rasio dimensi panjang terhadap pendek
- ℓ_n = Panjang bentang bersih (mm)

Menurut Imran (23,2014), rasio kekakuan balok-pelat dihitung dengan persamaan (2-36) berikut :

$$\alpha = \frac{\frac{E_{cb} I_b}{l}}{\frac{E_{cs} I_s}{l}} = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} \quad (2-36)$$

Dengan :

- E_{cb} = modulus elastisitas balok beton (MPa)
- E_{cs} = modulus elastisitas pelat beton (MPa)
- I_b = momen inersia balok tak retak (mm^4)
- I_s = momen inersia pelat tak retak (mm^4)

2. Metode Desain

Ada beberapa metode untuk mendesain dan mengetahui kebutuhan tulangan pelat. Yakni metode desain langsung (*Direct Design Method*), metode rangka/portal ekuivalen (*Equivalent Frame Method*), Metode analisis elastik dan analisis plastik/garis leleh (Imran, 2014). Dalam tugas akhir ini, penyusun menggunakan metode desain langsung dengan bantuan tabel momen terfaktor.

Untuk menghitung momen terfaktor dapat menggunakan tabel untuk pelat yang dijepit pada keempat sisinya.

Tabel 2.15 Momen Terfaktor pada Pelat dua arah (Gideon, 1993)

Momen		l_y/l_x							
		1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0
Ml_x	$0,001 Wul_x^2$	25	34	42	49	53	58	62	65
Ml_y	$0,001 Wul_x^2$	25	22	18	15	15	15	14	14
Mt_x	$-0,001 Wul_x^2$	51	63	72	78	81	82	83	83
Mt_y	$-0,001 Wul_x^2$	51	54	55	54	54	53	51	49

3. Gaya geser desain

Selain lentur, gaya geser juga mempengaruhi desain pelat, untuk gaya geser desain pelat dibagi menjadi dua (Imran, 2014), yaitu pelat yang dekat dengan :

- kolom tepi $\rightarrow V_u \leq 0,5$ hingga $0,55 \phi V_c$
- kolom interior $\rightarrow V_u \leq 0,85$ hingga $1,0 \phi V_c$

4. Syarat kebutuhan tulangan

Luas tulangan susut dan suhu harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014 :

- a. Slab yang menggunakan tulangan ulir mutu 280 atau 350....0,0020
- b. Slab yang menggunakan tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 4200,0018
- c. Slab yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35 persen

$$\frac{0,0018 \times 240}{f_y}$$

2.3.4. Komponen Struktur Lentur SRPMK

Komponen lentur adalah komponen struktur yang menerima gaya aksial dan lentur terfaktor dan diproporsikan untuk menahan gaya lentur. Komponen struktur lentur harus memenuhi empat kelompok besar persyaratan. Persyaratan gaya dan geometri, persyaratan tulangan lentur, persyaratan tulangan transversal, persyaratan kuat geser komponen struktur lentur.

a. Persyaratan gaya dan geometri :

1. Gaya aksial terfaktor yang diterima harus lebih kecil dari sepuluh persen luas penampang, A_g , dikalikan dengan f'_c . $0,1A_gf'_c$.
2. Bentang bersih komponen struktur (l_n) harus lebih besar dari empat kali tinggi efektifnya (d).
3. Perbandingan lebar komponen struktur, b_w , terhadap tinggi komponen struktur, h , harus lebih dari 0,3.
4. Lebar komponen struktur lentur, b_w , harus lebih dari ≥ 250 mm, dan
5. Lebar komponen struktur lentur, b_w , harus kurang dari lebar kolom ditambah jarak pada setiap sisi kolom yang tidak melebihi tiga per empat tinggi komponen struktur lentur.

b. Persyaratan tulangan longitudinal/ lentur

1. Tulangan atas maupun bawah harus lebih besar dari persamaan (2-37) dan (2-38) :

$$\frac{0,25b_w d \sqrt{f'_c}}{f_y} \quad (2-37)$$

dan

$$\frac{1,4b_w d}{f_y} \quad (2-38)$$

Dengan : b_w = lebar komponen lentur
 d = tinggi efektif penampang komponen lentur

2. Rasio tulangan lentur harus kurang dari 0,025 dan $0,75\rho_b$.
 3. Minimum ada dua batang tulangan atas dan dua batang tulangan bawah yang terpasang secara menerus.
 4. Kuat lentur positif balok pada muka kolom harus lebih besar atau sama dengan setengah kuat lentur negatifnya. Kuat lentur negatif dan positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur terbesar pada bentang tersebut.
 5. Sambungan lewatan untuk penyambungan tulangan lentur harus diberi tulangan spiral atau sengkang tertutup di sepanjang sambungan tersebut.
 6. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan pada :
 - Daerah hubungan balok-kolom
 - Daerah hingga jarak dua kali tinggi balok h dari muka kolom, dan
 - Lokasi-lokasi yang memperlihatkan kemungkinan terjadi leleh lentur akibat perpindahan lateran inelastis struktur portal bangunan.
- c. Persyaratan tulangan transversal
1. Tulangan transversal harus berbentuk sengkang tertutup.
 2. Sengkang tertutup harus dipasang pada :

- Pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan/kolom
- Di sepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua sisi dari suatu penampang yang berpontesi membentuk sendi plastis
- Sengkang pertama dipasang maksimal 50 mm dari muka tumpuan.

3. Spasi sengkang tertutup harus kurang dari :

- $d/4$
- enam kali diameter terkecil tulangan memanjang
- 150 mm

d. Persyaratan kuat geser komponen struktur lentur

Kuat geser komponen struktur lentur dihitung dengan persamaan (2-39)

berikut :

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u l_n}{2} \quad (2-39)$$

Dengan :

- V_e = gaya geser terfaktor balok akibat gempa (kN)
- M_{pr1} = probable moment di perletakan 1 akibat goyangan ke kiri atau ke kanan (kNm)
- M_{pr2} = probable moment di perletakan 1 akibat goyangan ke kiri atau ke kanan (kNm)
- W_u = Pengaruh beban gravitasi (kN)
= $1,2D + 1,0L$
- l_n = panjang bersih balok (m)

Momen ujung M_{pr} dihitung berdasarkan nilai kuat tarik baja tulangan yang telah diperbesar dengan menerapkan faktor kuat lebih sebesar $1,25f_y$.

Tulangan transversal harus diproporsikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ ketika :

1. Gaya geser akibat gempa mewakili setengah atau lebih dari kuat geser perlu maksimum.
2. Gaya aksial tekan terfaktor pada penampang, termasuk akibat gempa lebih kecil dari $A_g f'_c / 20$

2.3.5. Komponen Struktur SRPMK yang Menerima Beban Lentur dan Beban Aksial

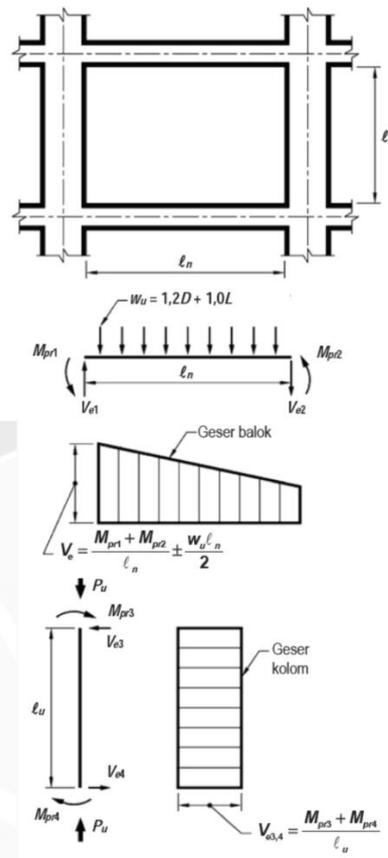
Komponen yang menerima beban lentur dan aksial adalah komponen struktur kolom. Beban aksial yang diterima oleh kolom dibatasi harus lebih besar dari $0,1 A_g f'_c$. Selain syarat tersebut, kolom juga harus memenuhi persyaratan geometri, kekuatan lentur, tulangan lentur, tulangan transversal dan perencanaan geser.

a. Persyaratan Geometri

1. Penampang terkecil harus lebih dari sama dengan 300 mm.
2. Perbandingan ataran ukuran terkecil penampang terhadap ukuran tegak lurus nya lebih besar dari sama dengan 0,4.

b. Kekuatan Lentur Minimum Kolom

SNI beton mengharuskan kuat lentur kolom SRPMK memenuhi kondisi kolom kuat – balok lemah, dengan ketentuan :



Gambar 2. 1 Geser Desain untuk balok dan kolom SRPMK
(Sumber : SNI 2847-2013)

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \quad (2-40)$$

Dengan :

- $\sum M_{nc}$ = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam Joint. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial Terfaktor, sesuai dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan nilai kekuatan lentur nominal terendah. (kNm)
- $\sum M_{nb}$ = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint. (kNm)

Dengan distribusi pada kolom menurut Gideon (1993,82) dijabarkan pada persamaan (2-41) dan (2-42) :

$$M_{nc,a} = \frac{M_{E,a}}{M_{E,a} + M_{E,b}} \sum M_{nc} \quad (2-41)$$

$$M_{nc,b} = \frac{M_{E,b}}{M_{E,a} + M_{E,b}} \sum M_{nc} \quad (2-42)$$

Dengan :

$M_{nc,a}$ = momen nominal kolom di atas joint (kNm)

$M_{nc,b}$ = momen nominal kolom di bawah joint (kNm)

$M_{E,a}$ = momen di kolom di atas joint karena gaya gempa (kNm)

$M_{E,b}$ = momen di kolom di bawah joint karena gaya gempa (kNm)

c. Tulangan Lentur / Longitudinal/ Memanjang

Rasio tulangan longitudinal disyaratkan lebih besar dari 0,01 dan kurang dari 0,06.

Bila harus ada sambungan, sambungan lewatan hanya diperbolehkan pada daerah setengah bentang/ panjang elemen struktur yang berada di tengah, direncanakan sebagai sambungan taruk, dan harus diikat dengan tulangan spiral atau sengkang tertutup yang direncanakan sesuai ketentuan tulangan transversal. (Imran, 2014)

d. Tulangan Transversal

Tulangan trasnversal harus dipasang di daerah yang berpontesi membentuk sendi plastis dengan luasan dan jarak yang ditentukan berikut ini.

1. Tulangan transversal harus dipasang :

- sepanjang l_o dari setiap muka joint
- sepanjang l_o pada kedua sisi dimana pelelehan lentur mungkin terjadi akibat perpindahan lateral inelastis rangka.
- sepanjang daerah sambungan lewatan tulangan longitudinal
- ke dalam pondasi sekurang-kurangnya 300 mm.

2. Panjang l_o dibatasi minimal sama dengan :

- tinggi komponen struktur pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur mungkin terjadi.
 - 1/6 bentang bersih komponen struktur, l_u
 - 450 mm.
3. Spasi tulangan transversal sepanjang l_o komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari :
- seperempat dimensi komponen struktur minimum
 - enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil
 - s_o seperti didefinisikan oleh persamaan (2-43)

$$s_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (2-43)$$

Dengan $100 \text{ mm} \leq s_o \leq 150 \text{ mm}$

4. Batas rasio dan luas tulangan transversal kolom

Untuk tulangan spiral atau pengikat bulat, ρ_s , tidak boleh kurang dari nilai yang ditentukan oleh persamaan (2-44) dan (2-45)

$$\rho_s = 0,12 \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \quad (2-44)$$

dan

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (2-45)$$

Luas penampang sengkang tertutup persegi tidak boleh kurang dari nilai yang didapat dari persamaan (2-46) dan (247) :

$$A_{sh} = 0,3 \frac{sb_c f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (2-46)$$

dan

$$A_{sh} = 0,09 \frac{sb_c f'_c}{f_{yt}} \quad (2-47)$$

Dengan :

ρ_s = rasio tulangan spiral atau pengikat bulat

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

f_{yt} = kuat leleh tulangan transversal (MPa)

A_g = luas bruto penampang beton kolom (mm²)

A_{ch} = luas komponen struktur yang diukur sampai tepi luar tulangan transversal (mm²)

s = spasi tulangan transversal (mm)

b_c = dimensi penampang inti kolom yang terkekang (mm)

A_{sh} = luas penampang total tulangan transversal dalam rentang spasi s (mm²)

e. Perencanaan Geser

Gaya geser desain, V_e , harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka pertemuan-pertemuan (*joints*) di setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya joint ini harus ditentukan berdasarkan momen probabilitas, M_{pr} , di setiap ujung komponene struktur yang berhubungan dengan rentang dari beban aksial terfaktor, P_u , yang bekerja pada komponen struktur. Geser komponen struktur tidak perlu lebih besar dari momen probabilitas, M_{pr} , balok yang merangka pada joint tersebut. Namun, V_e , tidak boleh kurang dari geser terfaktor hasil analisis struktur.

Untuk menghitung kebutuhan tulangan geser, $V_c = 0$ apabila terpenuhi kondisi V_e akibat gempa lebih besar dari $0,5V_u$ dan gaya aksial terfaktor, P_u pada kolom tidak lebih dari $0,05A_g f'_c$.

2.3.6. Joint Rangka Momen Khusus

Menurut Imran (158,2014), gaya lateral yang bekerja pada struktur, momen lentur ujung pada balok-balok yang merangka pada suatu joint memutar joint ke arah yang sama menyebabkan gaya geser cukup besar di hubungan balok kolom (joint).

Syarat-syarat yang harus dipenuhi joint :

1. Gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal di muka joint harus ditentukan dengan mengasumsikan bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah $1,25f_y$
2. Tulangan longitudinal balok yang dihentikan dalam suatu kolom harus diteruskan ke muka jauh inti terbelakang dan diangkur dalam kondisi tarik maupun tekan.

Menurut Imran (161,2014) Untuk tulangan diameter 10 hingga 36, panjang penyaluran l_{dh} untuk tulangan tarik dengan kait standar 90° dalam beton normal tidak boleh diambil lebih kecil dari $8d_b$, 150 mm, dan nilai yang ditentukan oleh persamaan (2-48) berikut :

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4\sqrt{f'_c}} \quad (2-48)$$

Bila digunakan tulangan tanpa kait, untuk diameter 10 mm hingga 36 mm, panjang penyaluran tulangan tarik tidak boleh diambil lebih kecil dari :

- (a) Dua setengah (2,5) kali panjang penyaluran dengan kait bila ketebalan pengecoran beton di bawah tulangan tersebut kurang dari 300 mm, dan
 - (b) Tiga setengah (3,5) kali panjang penyaluran dengan kait bila ketebalan pengecoran beton di bawah tulangan tersebut melebihi 300 mm.
3. Bila tulangan balok longitudinal menerus melalui joint balok-kolom, dimensi kolom yang sejajar terhadap tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter batang tulangan balok longitudinal terbesar untuk

beton normal. Untuk beton ringan, dimensinya tidak boleh kurang dari 26 kali diameter batang tulangan.

4. Bila balok yang merangka pada empat sisi joint dan setiap lebar balok setidaknya $\frac{3}{4}$ lebar kolom, jumlah tulangan transversal yang harus dipasang pada joint diizinkan untuk direduksi dengan setengahnya, dan spasi yang disyaratkan diizinkan untuk ditingkatkan hingga 150 mm dalam tinggi keseluruhan h komponen struktur rangka yang terpendek.

Kuat geser V_n , joint ditentukan oleh kekangan dari balok yang merangka pada joint tersebut. Kekangan tersebut berbeda-beda tergantung jumlah balok yang mengekang. Persamaan V_n dapat ditulis sebagai berikut :

1. Persamaan (2-49) untuk joint yang terkekang di keempat sisinya

$$V_n = 1,7\sqrt{f'_c} A_j \quad (2-49)$$

2. Persamaan (2-50) untuk joint yang dikekang tiga muka atau dua muka berlawanan

$$V_n = 1,2\sqrt{f'_c} A_j \quad (2-50)$$

3. Persamaan (2-51) untuk kasus-kasus lainnya

$$V_n = 1,0\sqrt{f'_c} A_j \quad (2-51)$$

2.3.7. Pondasi

1. Daya dukung pondasi *Bored Pile*

Daya dukung pondasi *bored pile* mengikuti rumus umum yang diperoleh dari penjumlahan tahanan ujung dan tahanan selimut tiang dihitung dengan persamaan (2-52) hingga (2-53).

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2-52)$$

$$Q_s = f \cdot L \cdot P \quad (2-53)$$

$$Q_p = q_p \cdot A_b \quad (2-54)$$

Dengan :

Q_u = daya dukung terfaktor pondasi (kN)

Q_p = daya dukung pondasi yang diberikan oleh *point bearing* (kN)

Q_s = daya dukung pondasi yang diberikan oleh friksi pada selimut (kN)

f = gaya gesek yang terjadi pada tiang (kN/m²)

L = panjang tiang (m)

K = keliling tiang (m)

$$= \pi D$$

D = diameter tiang (m)

Q_p = daya dukung tanah pada ujung pondasi (kN/m²)

A_b = luas alas tiang (m²)

2. Jumlah tiang dalam kelompok tiang

Jumlah tiang (n) dihitung dengan persamaan (2-55) berikut :

$$(n) = \frac{N}{P_{\text{tiang}}} \quad (2-55)$$

Menurut Sardjono (13,1988) Jarak antar tiang bored pile ditentukan oleh persamaan (2-56) berikut

$$2,5D \geq S \geq 3D \quad (2-56)$$

Jarak antara sumbu tiang ke tepi *pilecap* ditentukan persamaan (2-57) dan (2-58) :

a. Untuk tiang pancang

$$S = 1,25D \quad (2-57)$$

b. untuk tiang dicor setempat (cash in place)

$$S = 1,0D \quad (2-58)$$

Dengan :

P = beban yang diterima tiang (kN)

- N = beban normal (kN)
 S = jarak sumbu tiang ke tepi atau ke tiang yang lain (m)
 D = diameter tiang. (m)

3. Efisiensi kelompok tiang

Kekuatan/ daya dukung tiang akan berkurang ketika tiang tersebut berada dalam suatu kelompok. Sardjono (34,1988) menyebutkan reduksi tersebut disebabkan oleh *overlapping* penyebaran tegangan di sekeliling tiang. Untuk menentukan efisiensi kelompok tiang, dapat dihitung dengan rumus *Converse Labarre* pada persamaan (2-59) berikut :

$$\eta = 1 - \frac{\theta}{90^0} \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn} \right) \quad (2-59)$$

Dengan :

- η = efisiensi
 m = jumlah deret tiang
 n = jumlah tiang setiap deret
 θ = arc tan (d/s)
 s = jarak antar tiang (m)
 d = diameter tiang (m)

4. kontrol reaksi tiang

$$P_{max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_y X}{\sum X^2} + \frac{M_x Y}{\sum Y^2} \quad (2-60)$$

Dengan :

- P_{max} = beban maksimum yang diterima tiang (kN)
 $\sum V$ = jumlah total beban normal (kN)
 n = jumlah tiang dalam satu pilecap
 M_x = momen yang bekerja pada tiang tegak lurus sumbu x yang bekerja pada pondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terdapat dalam pilecap (kN-m)
 M_y = momen yang bekerja pada tiang tegak lurus sumbu y yang bekerja pada pondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terdapat dalam pilecap (kN-m)
 x = absis tiang terhadap titik berat kelompok tiang (m)
 y = ordinat tiang terhadap titik berat kelompok tiang (m)
 $\sum x^2$ = jumlah kuadrat absis tiang

$\sum y^2$ = jumlah kuadrat ordinat tiang

5. Kontrol Pemindahan beban kolom pada pondasi

$$\phi P_k > \text{ gaya aksial rencana} \quad (2-61)$$

$$\phi P_k = 0,80\phi[0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (2-62)$$

Dengan :

P_k = kemampuan menahan gaya aksial oleh kolom

A_g = luas penampang bruto suatu kolom

A_{st} = luas penampang tulangan kolom

6. Perencanaan *pilecap*

Kontrol terhadap geser satu arah

$$V_u < \phi V_n \quad (2-63)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (2-64)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_o d \quad (2-65)$$

$$V_u = \sum P_u \quad (2-66)$$

Atau

$$V_u = Q_u \cdot q \cdot L \quad (2-67)$$

$$Q_u = \frac{P_u}{A_p} \quad (2-68)$$

$$q = \frac{1}{2} \text{ lebar pilecap} - \frac{1}{2} h \text{ kolom} - d \quad (2-69)$$

Dengan :

V_u = gaya geser total terfaktor (kN)

V_n = kuat geser nominal (kN)

V_c = kuat geser yang disumbangkan oleh beton

P_u = beban terfaktor pada pondasi tiang

b_o = penampang kritis

A_p = luas *pilecap*

L = lebar *pilecap*

d = tinggi efektif

Kontrol terhadap geser *ponds* (dua arah)

$$V_u < \phi V_n \quad (2-70)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (2-71)$$

Nilai kuat geser beton diambil yang terkecil dari :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f_c} b_0 d}{6} \quad (2-72)$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f_c} b_0 d \quad (2-73)$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s d}{b_0} + 2\right) \frac{\sqrt{f_c} b_0 d}{12} \quad (2-74)$$